

MC812和郑单958子粒灌浆和脱水特性研究

徐田军, 吕天放, 赵久然, 王荣焕, 刘月娥, 刘秀芝,
陈传永, 邢锦丰, 王元东, 刘春阁

(北京市农林科学院玉米研究中心/玉米DNA指纹及分子育种北京重点实验室, 北京 100097)

摘要: 以MC812和郑单958为试验材料, 分析其子粒灌浆和脱水特性, 研究不同基因型玉米品种子粒灌浆和脱水特性的差异。结果表明, 百粒干物重在品种间存在显著差异, MC812平均百粒干物重较郑单958高2.64 g。与郑单958相比, MC812子粒达到最大灌浆速率的时间($T_{\max}$)平均提前4.40 d, 灌浆起始势(R_0)高0.25, 活跃灌浆期(P)长1.33 d。MC812灌浆渐增期的平均灌浆速率显著高于郑单958, 灌浆缓增期则与郑单958相当。MC812生理成熟时子粒含水量略低于郑单958, 但差异不显著。收获时的子粒含水量在品种间呈极显著差异, MC812收获时的子粒含水量则较郑单958低5个百分点。生理成熟后的脱水速率在品种间呈极显著差异, MC812分别较郑单958高0.15%/d。穗粒数、百粒重和产量在品种间呈极显著差异, MC812产量较郑单958高6.67%、穗粒数和百粒重分别较郑单958高8.56%和8.04%。

关键词: 玉米; MC812; 郑单958; 子粒灌浆特性; 脱水特性

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Grain Filling and Dehydration Characteristics of MC812 and Zhengdan958

XU Tian-jun, LÜ Tian-fang, ZHAO Jiu-ran, WANG Rong-huan, LIU Yue-e, LIU Xiu-zhi,

CHEN Chuan-yong, XING Jin-feng, WANG Yuan-dong, LIU Chun-ge

(Maize Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing Key Laboratory of Maize DNA Fingerprinting and Molecular Breeding, Beijing 100097, China)

Abstract: Field experiments were conducted to clarify the difference in grain filling and dehydration characteristics of different genotype maize varieties. MC812 and Zhengdan958(ZD958) were used to study the grain filling and dehydration characteristics. The results showed that, there are significant differences in the 100-grain dry matter weight among varieties. The average 100-grain dry weight of MC812 was 2.64 g higher than that of ZD958. The time reaching the maximum grain filling rate($T_{\max}$) of MC812 was 4.40d earlier, the grain filling initiation potential(R_0) was 0.25 higher, and the grain filling duration(P) was 1.33 d longer than that of ZD958; the average filling rate during gradual increasing period of grain filling for MC812 was significantly higher than that of ZD958, and the average filling rate during slow increasing period of grain filling was the same. The moisture content of MC812 was slightly lower than that of Zhengdan958 at physiological maturity, but the difference was not significant. The grain moisture content at harvest differed significantly among varieties; the moisture content of MC812 was 5 percent lower than that of ZD958 at harvest; the dehydration rate after physiological maturity was extremely significant differences of among varieties with 0.15 %/d higher of MC812 than ZD958. The grain number per ear, 100-grain weight and yield were extremely significant differences among varieties; the yield of MC812 was 6.67% higher, the number of grains per ear and 100-grain weight was 8.56% and 8.04% higher than that of ZD958, respectively.

Key words: Maize; MC812; ZD958; Grain filling characteristic; Grain dehydration characteristic

录用日期: 2018-04-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300106)、北京市农林科学院青年科研基金(QNJJ201728)、北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20151406)、北京市农林科学院院级科技创新团队建设项目(JNKYT201603)、现代农业产业技术体系专项(CARS-02-11)

作者简介: 徐田军(1982-), 山东临沂人, 硕士, 主要从事玉米高产栽培研究。

吕天放为并列第一作者。

赵久然和王荣焕为本文通讯作者。E-mail: maizezhao@126.com E-mail: ronghuanwang@126.com

玉米是我国种植面积最大、总产量最高的第一大粮食作物,对保障国家粮食安全和满足市场需求发挥着主力军作用^[1]。玉米子粒灌浆特性是影响产量的重要因素,灌浆期长短和灌浆速率高低在很大程度上决定了粒重的高低,进而影响产量^[2]。目前,我国玉米生产中普遍存在收获时子粒含水量偏高的问题,影响了机械收获作业的质量和效果^[3]。因地制宜,选育和种植熟期适宜、灌浆速率高、脱水速度快的品种,是实现玉米高产优质和提高机械收获特别是机收子粒作业质量的有效技术途径。

玉米子粒含水量随子粒干物质的不断积累呈下降趋势。前人研究表明,玉米子粒灌浆速率和子粒含水率极显著正相关^[4,5]。Krishnan等^[6]认为,玉米生理成熟时子粒干物重达最大值,之后子粒含水量迅速下降,此时子粒脱水速率决定收获时的子粒含水量。Brooking等^[7]研究表明,玉米收获时子粒含水量的差异由灌浆速率、生理成熟时子粒含水量和生理成熟后子粒脱水速率共同决定。玉米收获时,子粒含水量过高对玉米的贮藏和加工利用影响极大,经常使种植者和经营者遭受很大的经济损失,影响玉

米的种植效益和经营效益。要缓解这个问题,选育和种植成熟期含水量低尤其是生理成熟后子粒脱水快的品种,是省工增效的经济措施。MC812是由北京市农林科学院玉米研究中心选育的玉米新品种,适宜在华北地区晚春播或夏播种植。本文研究京津冀主推玉米品种郑单958和MC812的子粒灌浆和脱水特性,为挖掘子粒产量潜力进而实现玉米子粒机收提供理论依据和指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2016~2017年在北京市农林科学院通州基地开展试验。试验田耕层土壤(0~20 cm)含有机质 9.88 mg/kg、碱解氮 91.9 mg/kg、速效磷 28.30 mg/kg、速效钾 168 mg/kg。试验品种为MC812和郑单958(ZD958)。随机区组设计,3次重复,6行区,行距60 cm,行长7.5 m,小区面积27 m²,种植密度60 000株/hm²。5月10日播种,9月20日收获。田间管理同当地大田生产。玉米子粒灌浆至成熟期的日平均气温和日照时数见表1。

表1 玉米子粒灌浆至成熟期气温和日照时数

Table 1 Temperature and sunshine conditions during maize grain filling to maturity period

年 份	品 种	日平均气温	相对空气湿度(%)	日照时数(h)
Year	Variety	Daily mean temperature	Relative air humidity	Sunshine time
2016	MC812	24.7℃	48.2	706.4
	ZD958	22.9℃	53.6	711.9
2017	MC812	26.9℃	46.1	743.5
	ZD958	23.8℃	51.2	753.2

1.2 测定项目与方法

1.2.1 子粒干物重测定

准确调查吐丝期及生理成熟期。吐丝前,分别选择生长健壮一致的果穗进行挂牌标记,统一授粉。自授粉后15 d起,每隔7 d取样1次直至收获,即授粉后第15、22、29、36、43、50、57、64、71、78天取样,每次取样各小区分别取3穗,取果穗中部子粒100粒,称鲜重,在105℃烘箱中杀青30 min后,80℃烘干至恒重,测定各品种百粒重。以授粉后天数(d)为自变量、授粉后每隔7 d测得的百粒重为因变量(W),参照朱庆森等^[8]的方法,利用Richards方程 $W=A(1+Be^{-Ct})^{-1/D}$ 模拟子粒灌浆过程。子粒灌浆速率: $F=ACBe^{-Ct}/(1+Be^{-Ct})^{(D+1)/D}$,式中,W为粒重(g);A为最终粒重(g);t为授粉后天数(d);B、C、D为回归方程所确定的参数,其中,A为终极生长量,B为初值参数,C为生长速率参数,D为形状参数,当D=1时,即为Logis-

tic方程。子粒灌浆特征参数计算公式如下:

灌浆起始势(R_0)= C/D ;

达最大灌浆速率时的天数(T_{max})= $(\ln B-\ln D)/C$;

灌浆活跃期(P)= $2(D+2)/C$;

灌浆高峰开始日期(t_1)= $-\ln\{[D^2+3D+D(D^2+6D+5)^{1/2}]/2B\}/C$,此时对应粒重为 $W_1=A(1+Be^{-Ct_1})^{-1/D}$;

灌浆高峰结束日期(t_2)= $-\ln\{[D^2+3D-D(D^2+6D+5)^{1/2}]/2B\}/C$,此时对应粒重为 $W_2=A(1+Be^{-Ct_2})^{-1/D}$;

花后粒重达99%时为有效灌浆期(t_3)= $-\ln\{[(100A/99)^{D-1}/B]\}/C$,此时对应粒重为 W_3 ;

灌浆渐增期平均灌浆速率(G_{ave1})= W_1/t_1 ;

灌浆速增期平均灌浆速率(G_{ave2})= $(W_2-W_1)/(t_2-t_1)$;

灌浆缓增期平均灌浆速率(G_{ave3})= $(W_3-W_2)/(t_3-t_2)$ 。

1.2.2 子粒含水量测定

根据动态取样过程中的子粒鲜重和干重,计算子粒含水量及平均脱水速率。子粒生理成熟期和收

获期,分别测定子粒含水量。

子粒含水量=(鲜重-干重)/鲜重×100%;

子粒平均脱水速率(%/d)=(前1次含水量-后1次含水量)/间隔天数;

生理成熟后子粒平均脱水速率(%/d)=(生理成熟时的含水量-收获时含水量)/间隔天数^[9]。

1.2.3 产量测定

各小区分别收获中间4行考种和计产。

1.3 数据处理

采用DPS 6.50软件对数据进行方差分析,不同处理间差异显著性分析采用LSD法(α=0.05)。采用

Curve Expert 3.0软件对子粒干物质积累动态进行拟合,用Microsoft Excel 2007 进行数据计算和作图。

2 结果与分析

2.1 子粒干物重和灌浆速率

参试品种子粒干物重随授粉后天数呈“慢-快-慢”的“S”形动态曲线变化,子粒灌浆速率呈“先升后降”的单峰曲线变化(图1)。2016、2017年,MC812子粒灌浆速率到达峰值所需时间为授粉后25 d左右,郑单958为授粉后30 d左右;灌浆中前期,MC812的灌浆速率大幅高于郑单958,灌浆后期则趋势相反。

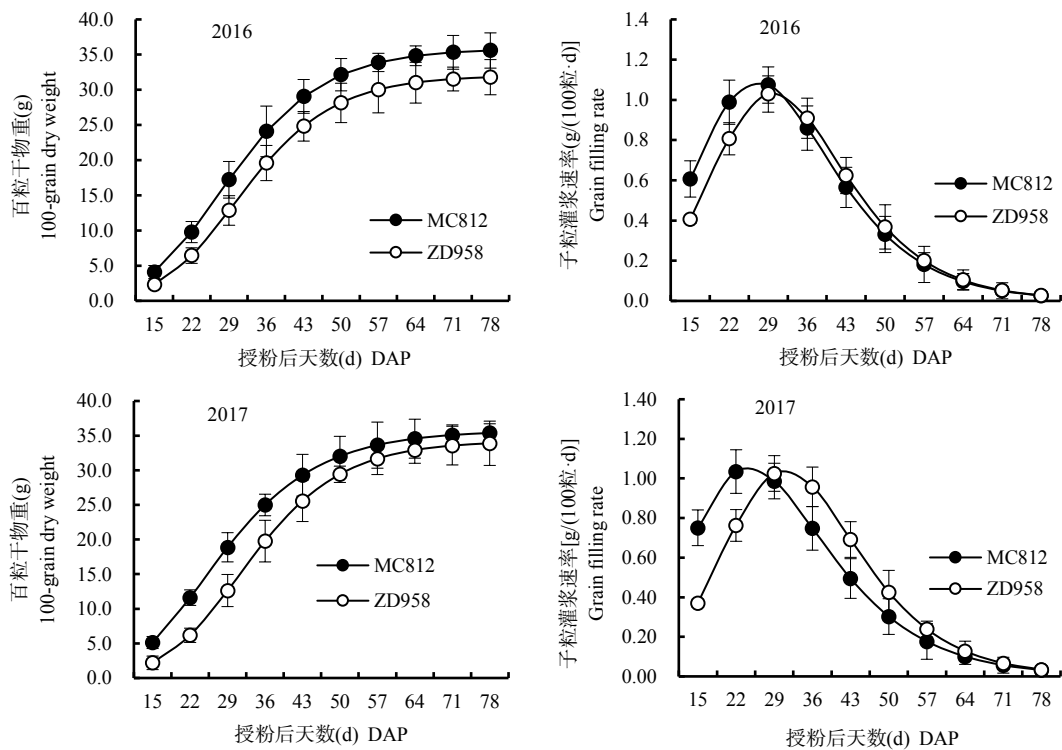


图1 MC812和郑单958子粒干物质积累和灌浆速率动态变化
Fig.1 Dynamics of grain dry matter accumulation and grain filling rate of MC812 and ZD958

表2 MC812和郑单958的百粒干物重
Table 2 100-grain weight of MC812 and ZD958

项 目	试验因素	百粒干物重(g) 100-grain weight			
		2016年	2017年	平均值	Average value
品 种	MC812	35.58	35.39	35.49 a	
	郑单958	31.79	33.90	32.85 b	
	平均值	33.69 a	34.65 a		
均 方	品 种	2.74**			
	年 际	20.93			
	品种×年际	3.96*			

注:**表示在P<0.01水平下差异显著;*表示在P<0.05水平下差异显著;同一列数字后小写字母表示在P<0.05水平下差异显著。下表同。
Note: ** indicated significantly different at P<0.01, * and the lowercase letters after the same column number indicated significantly different at P<0.05. The same below.

方差分析表明,百粒干物重在品种间达极显著差异,年际间差异不显著(表 2)。2016、2017 年,MC812 和郑单 958 的平均百粒干物重分别为 35.49、32.85 g,MC812 较郑单 958 高 2.64 g,增幅为 8.04%。

2.2 子粒灌浆参数

由表 3 可知,与郑单 958 相比,MC812 子粒达到

最大灌浆速率的时间(T_{max})平均提前 4.40 d,灌浆起始势(R_0)高 0.25,活跃灌浆期(P)长 1.33 d;灌浆渐增期平均灌浆速率(G_{ave1})显著高于郑单 958 高 0.05 g/(100 粒·d),灌浆速增期和缓增期平均灌浆速率与郑单 958 相当。说明 MC812 较郑单 958 灌浆启动早,且灌浆中前期灌浆速率高、活跃灌浆期长。

表 3 MC812 和郑单 958 子粒灌浆特征参数
Table 3 Grain filling characteristics of MC812 and ZD958

年 份 Year	品 种 Variety	T_{max} (d)	R_0	P (d)	G_{ave1} [g/(100 粒·d)]	G_{ave2} [g/(100 粒·d)]	G_{ave3} [g/(100 粒·d)]
2016	MC812	27.07 b	0.29 a	48.70 a	0.29 a	0.94 a	0.24 a
	郑单 958	29.79 a	0.28 a	47.34 a	0.22 b	0.87 b	0.26 a
2017	MC812	24.27 b	0.72 a	50.00 a	0.27 a	0.91 a	0.24 a
	郑单 958	30.94 a	0.27 b	48.70 a	0.23 b	0.90 a	0.25 a

注: T_{max} 为达到最大灌浆速率的时间; R_0 为灌浆起始势; P 为活跃灌浆期; G_{ave1} 为灌浆渐增期平均灌浆速率; G_{ave2} 为灌浆速增期平均灌浆速率; G_{ave3} 为灌浆缓增期平均灌浆速率。
Note: T_{max} , time reaching the maximum filling rate; R_0 , the initial grain filling potential; P , the active grain filling period; G_{ave1} , the average filling rate during gradual increasing period of grain filling; G_{ave2} , the average filling rate during rapid growth period of grain filling; G_{ave3} , the average filling rate during slow filling period of grain filling.

2.3 子粒含水量

以授粉后天数(x)为自变量、子粒含水量(y)为因变量,运用二次多项式方程对子粒含水量动态进行模拟,决定系数达 0.98 以上,说明二次多项式方程能

较好地拟合玉米子粒含水量变化过程(图 2)。灌浆过程中,子粒含水量呈下降趋势;灌浆中前期 MC812 和郑单 958 子粒含水量相当,但灌浆后期 MC812 子粒含水量下降较快而郑单 958 降低缓慢。

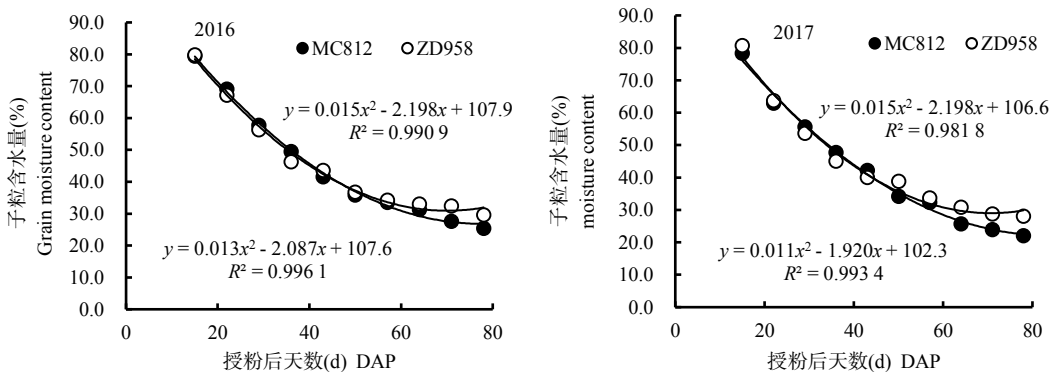


图 2 MC812 和郑单 958 子粒含水量动态变化

Fig.2 Dynamics of grain moisture content of MC812 and ZD958

2.4 子粒脱水速率

由表 4 可知,MC812 生理成熟期较郑单 958 平均提早 6.5 d。生理成熟时参试品种的子粒含水量均为 30% 以上,MC812 子粒含水量略低于郑单 958,但差异不显著;从 9 月 1 日至 9 月 20 日,同一日期条件下 MC812 的子粒含水量较郑单 958 平均低 4.5 个百分点。子粒生理成熟后的脱水速率在品种间呈极显著差异,表现为 MC812 显著高于郑单 958,平均高 0.15 %/d。由此可见,MC812 生理成熟后子粒脱水

速度快。收获时 MC812 子粒含水量显著低于郑单 958,低 5 个百分点。

2.5 参试玉米品种收获期子粒含水量与气象条件、子粒脱水速率的相关性

由表 5 可知,参试品种收获期子粒含水量与日平均气温($r=-0.979\ 8^*$)、生理成熟后子粒平均脱水速率($r=-0.959\ 2^*$)呈显著负相关,与相对空气湿度($r=0.978\ 7^*$)呈显著正相关。

表4 MC812和郑单958的子粒含水量和脱水速率

Table 4 Grain moisture content and dehydration rate of MC812 and ZD958

年 份 Year	品 种 Variety	生理成熟期 Physiological maturity	子粒含水量(%) Grain moisture content						生理成熟后平均 脱水速率(%/d) Dehydration rate after physiological maturity
			生理成熟期 Physiological maturity	9月1日 September 1	9月5日 September 5	9月10日 September 10	9月15日 September 15	9月20日 September 20	
2016	MC812	9月1日	33.63 a	33.60 c	31.40 c	29.30 c	27.80 c	27.10 c	0.34 b
	ZD958	9月8日	33.87 a	37.40 a	35.20 a	33.10 a	31.80 a	31.30 a	0.21 c
2017	MC812	8月30日	33.57 a	32.20 d	29.60 d	27.00 d	24.90 d	23.40 d	0.48 a
	ZD958	9月5日	33.97 a	36.40 b	34.00 b	31.60 b	30.10 b	29.30 b	0.31 bc
变异来源		年际	1.44	518.40	58.45	647.62*	139.08**	403.59**	110.54**
		品种	0.10	43.94**	8.29**	130.46**	34.27**	129.20**	78.34**
		年际×品种	0.004	1.56**	0.35**	4.86**	2.08**	11.80**	2.11**

表5 参试玉米品种收获期子粒含水量和气象条件、子粒脱水速率的相关性

Table 5 Correlation of grain moisture content at harvest with weather conditions and grain dehydrating rate

相关系数 Correlation coefficient	因子 Factor			
	日平均气温	相对空气湿度	生理成熟后子粒平均脱水速率	收获时子粒含水量
	X_1	X_2	X_3	X_4
日平均气温 X_1	1.000 0			
相对空气湿度 X_2	-0.965 4*	1.000 0		
生理成熟后子粒平均脱水速率 X_3	0.889 6	-0.976 2*	1.000 0	
收获时子粒含水量 X_4	-0.979 8*	0.978 7*	-0.959 2*	1.0000

2.6 产量 629.7 kg/hm²,增幅为6.67%;穗粒数和百粒重分别较郑单958高8.56%和8.04%。

由表6可知,穗粒数、百粒重和产量在品种间存在极显著差异。MC812产量显著高于郑单958,高

表6 MC812和郑单958的产量

Table 6 The yield of MC812 and ZD958

年 份 Year	品 种 Variety	穗粒数(粒) Grain per ear	百粒重(g) 100-grain weight	产量(kg/hm ²) Yield
2016	MC812	545.50 a	35.58 a	10 184.55 a
	郑单958	502.10 b	31.79 b	9 622.05 b
2017	MC812	522.30 a	35.39 a	9 957.45 a
	郑单958	481.50 b	33.90 b	9 260.55 b
变异来源	年际	147.27**	20.93	94.85
	品种	39.76**	2.74**	20.71**
	年际×品种	0.13**	3.96*	1.08*

3 结论与讨论

玉米产量由单位面积穗数、穗粒数和粒重构成,子粒灌浆状况对粒重和产量的形成至关重要,粒重的高低主要由灌浆速率和灌浆持续期决定^[10]。玉米

子粒建成包括子粒干物质积累及子粒含水量降低两个过程^[11]。当玉米子粒黑层出现和乳线消失时即达到生理成熟,此时干物质积累达到最大,之后进入快速脱水阶段。不同基因型玉米品种子粒灌浆和脱水速率存在较大差异^[12~14]。本研究表明,MC812百粒

干物重和产量分别较郑单958高2.64 g和629.70 kg/hm²,增幅分别为8.04%和6.67%。与郑单958相比,MC812子粒灌浆起始势高、活跃灌浆期长,且灌浆中前期的灌浆速率高于郑单958。这说明,MC812较郑单958灌浆启动早、灌浆速度快、活跃灌浆期长,并且其粒重形成主要在灌浆中前期,这是MC812粒重显著高于郑单958的重要原因。

关于玉米子粒脱水特性方面,前人研究表明,不同玉米品种生理成熟后子粒脱水速率有明显差异^[15-17]。玉米生理成熟时的含水量和生理成熟后的脱水速率决定着收获时子粒含水量的高低且高度遗传^[18,19]。因此,选择并种植产量高、生理成熟期含水率低、脱水快的玉米品种是筛选适合机械收获子粒品种的有效途径。同时,环境条件也显著影响生理成熟期子粒含水率^[20,21]。本研究表明,参试品种收获期子粒含水量与生育期内日平均气温($r=-0.9798^*$)、生理成熟后子粒平均脱水速率($r=-0.9592^*$)呈显著负相关,与相对空气湿度($r=0.9787^*$)呈显著正相关。因此,适当提早播期,提高灌浆后期平均气温,降低相对空气湿度,从而降低参试玉米品种收获期子粒含水量。子粒含水量随授粉后天数呈下降趋势,在授粉后50 d之前,MC812和郑单958的子粒含水量差异不大;而之后则呈相反趋势,表现为MC812子粒含水量下降幅度显著高于郑单958。收获时的子粒含水量在品种间均存在极显著差异,但在年际间差异不显著。生理成熟后的脱水速率在品种间呈极显著差异,不同品种间,MC812生理成熟后的脱水速率均高于郑单958。从产量构成因素来看,MC812的穗粒数和粒重均显著高于郑单958。由此可见,子粒灌浆启动早、活跃灌浆期长、前期灌浆速率高、脱水速度快且穗粒数多是MC812较郑单958可获得较高产量且收获时子粒含水量较低的主要原因。

参考文献:

- [1] 赵久然,王荣焕. 中国玉米生产发展历程、存在问题及对策[J]. 中国农业科技导报,2013,15(3):1-6.
Zhao J R, Wang R H. Development process, problem and countermeasure of maize production in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(3): 1-6. (in Chinese)
- [2] 郭庆法,王庆成,汪黎明. 中国玉米栽培学[M]. 上海:科学技术出版社,2004.
- [3] 王振华,张忠臣,常华章,等. 黑龙江省38个玉米自交系生理成熟期及子粒自然脱水速率的分析[J]. 玉米科学,2001,9(2):53-55.
Wang Z H, Zhang Z C, Chang H Z, et al. Analysis of physiological mature stage and kernel naturally dry-down rate in 38 corn inbred lines in Heilongjiang[J]. Journal of Maize Sciences, 2001, 9(2): 53-55. (in Chinese)
- [4] 乔江方,李川,刘京宝,等. 不同自然脱水类型玉米品种子粒含水率变化与灌浆动态的关系[J]. 玉米科学,2015,23(5):96-101.
Qiao J F, Li C, Liu J B, et al. Relationship between grain water content and seed filling dynamic of different types of natural dehydration maize varieties[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(5): 96-101. (in Chinese)
- [5] 鲍继友,孙月轩,姜先梅,等. 夏玉米灌浆与温度、子粒含水率的关系[J]. 耕作与栽培,1994(5):22-26.
Bao J Y, Sun Y X, Jiang X M, et al. The relationship between the temperature of summer corn, grain moisture content and grain filling [J]. Culture and Planting, 1994(5): 22-26. (in Chinese)
- [6] P Krishnan, U K Chopra, A P Verma, et al. Nuclear magnetic resonance relaxation characterization of water status of developing grains of maize(*Zea mays* L.) grown at different nitrogen levels[J]. Journal of Bioscience & Bioengineering, 2014, 117(4): 512-518.
- [7] Brooking I. R. Maize ear moisture during grain-filling and its relation to physiological maturity and grain-drying[J]. Field Crops Research. 1990, 23: 55-68.
- [8] 朱庆森,曹显祖,骆亦其. 水稻子粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报,1988,14(3):182-193.
Zhu Q S, Cao X Z, Luo Y Q. Growth analysis of rice grain filling[J]. Acta Agronomica Sinica, 1988, 14(3): 182-193. (in Chinese)
- [9] 闫淑琴,苏俊,李春霞,等. 玉米子粒灌浆速率的配合力分析[J]. 玉米科学,2007,15(3):99-102.
Yan S Q, Sun J, Li C X, et al. Combining ability of grain filling rate in maize[J]. Journal of maize Sciences, 2007, 15(3): 99-102. (in Chinese)
- [10] 王晓慧,张磊,刘双利,等. 不同熟期春玉米品种的子粒灌浆特性[J]. 中国农业科学,2014,47(18):3557-3565.
Wang X H, Zhang L, Liu S L, et al. Grain filling characteristics of maize hybrids differing in maturities[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(18): 3557-3565. (in Chinese)
- [11] 丁佳琦,王红武,刘志芳,等. 玉米单交种和自交系生理成熟后子粒脱水速率的研究[J]. 作物杂志,2012(5):26-29.
Ding J Q, Wang H W, Liu Z F, et al. The research of grain dehydration rate of maize hybrids and inbred lines[J]. Crops, 2012(5): 26-29. (in Chinese)
- [12] Carter M W, Poneleit C G. Black layer maturity and filling period variation among inbred lines of corn(*Zea mays* L.)[J]. Crop Science, 1973, 13: 436-439.
- [13] Hicks D R, Geadelmann J L, Peterson R H. Drying rates of frosted maturing maize[J]. Agronomy Journal, 1976, 68: 452-455.
- [14] 李淑芳,张春宵,路明,等. 玉米子粒自然脱水速率研究进展[J]. 分子植物育种,2014,12(4):825-829.
Li S F, Zhang C X, Lu M, et al. Research development of kernel dehydration rate in maize[J]. Molecular Plant Breeding, 2014, 12(4): 825-829. (in Chinese)
- [15] Miller F M, Hughes H D. Cooperative variety test of corn: variety test corn in Columbia, MO[R]. Missouri Mississippi Agricultural Experiment Station Bulletin. 1910, 87.
- [16] Troyer A F, Ambrose W B. Plant characteristics affecting field drying rate of ear corn[J]. Crop Science, 1971, 11: 529-531.

- ony of spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(6): 63–67. (in Chinese)
- [17] 王永宏,王克如,赵如浪,等. 高产春玉米源库特征及其关系[J]. 中国农业科学, 2013, 46(2): 257–269.
- Wang Y H, Wang K R, Zhao R L, et al. Relationship between the source and sink of spring maize with high yield[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(2): 257–269. (in Chinese)
- [18] 靳立斌,张吉旺,李波,等. 高产高效夏玉米的冠层结构及其光合特性[J]. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2430–2439.
- Jin L B, Zhang J W, Li B, et al. Canopy structure and photosynthetic characteristics of high yield and high nitrogen efficiency summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(12): 2430–2439. (in Chinese)
- [19] 赵致,张荣达,吴盛黎,等. 紧凑型玉米高产栽培理论与技术研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(5): 465–468.
- Zhao Z, Zhang R D, Wu S L, et al. Study on theory and technology of growing for high-yield in compact corn[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(5): 465–468. (in Chinese)
- [20] 李登海,张永慧,杨今胜,等. 育种与栽培相结合-紧凑型玉米创高产[J]. 玉米科学, 2004, 12(1): 69–71.
- Li D H, Zhang Y H, Yang J S, et al. Combining breeding and cultivation compacted-type corn can produce high yield[J]. Journal of Maize Sciences, 2004, 12(1): 69–71. (in Chinese)
- [21] 刘绍棣,程绍义,于翠芳. 紧凑型玉米株型及生理特性研究[J]. 华北农学报, 1990, 3(5): 20–27.
- Liu S D, Cheng S Y, Yu C F, et al. Study on plant type and physiological characteristics of compact maize[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1990, 3(5): 20–27. (in Chinese)
- [22] 姚海坡,吕丽华,董志强,等. 适宜河北省种植的高产夏玉米品种筛选[J]. 河北农业科学, 2016, 20(6): 13–18.
- Yao H P, Lü L H, Dong Z Q, et al. Screening of high yield summer maize varieties suitable for planting in Hebei province[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2016, 20(6): 13–18. (in Chinese)
- [23] 景立权,肖尧,袁建华,等. 玉米超高产栽培生理研究进展[J]. 玉米科学, 2013, 21(6): 84–90.
- Jing L Q, Xiao Y, Yuan J H, et al. Research progress on physiology of maize under super high-yield cultivation[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(6): 84–90. (in Chinese)
- [23] 陈灿,林秀芳,陈勤平,等. 普通玉米高产品种产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 湖南农业科学, 2015(3): 15–17.
- Chen C, Lin X F, Chen Q P, et al. Grey relational analysis on main agronomic traits and yield of common high-yield maize varieties[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2015(3): 15–17. (in Chinese)
- [24] 赵延明. 玉米穗位高遗传效应及其与环境互作效应分析[J]. 玉米科学, 2009, 17(2): 2–14.
- Zhao Y M. Analysis of genetic effect and genotype by environment of ear height on maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(2): 2–14. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)

(上接第92页)

- [17] 李艳杰,史纪明,鞠成梅. 降低寒地玉米子粒水分的高产技术研究[J]. 玉米科学, 1999(2): 62–65.
- Li Y J, Shi J M, Ju C M. Study on high yield technique of reducing corn grain moisture in cold area[J]. Journal of Maize Sciences, 1999(2): 62–65. (in Chinese)
- [18] Purdy J D, Crane P L. Inheritance of drying rate in “Mature” corn[J]. Crop Science, 1967(7): 294–297.
- [19] 王克如,李少昆. 玉米子粒脱水速率影响因素分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2027–2035.
- Wang K R, Li S K. Analysis of influencing factors on kernel dehydration rate of maize hybrids[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2027–2035. (in Chinese)
- [20] 谭福忠,韩翠波,邹双利,等. 极早熟玉米品种子粒脱水特性的初步研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(7): 161–168.
- Tan F Z, Han C B, Zou S L, et al. Elementary study on kernel dry-down traits in earliest maturity maize hybrid[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(7): 161–168. (in Chinese)
- [21] 张亚军,张林,周艳春,等. 玉米杂交种生理成熟后子粒田间自然脱水速率差异分析[J]. 作物杂志, 2010(2): 58–61.
- Zhang Y J, Zhang L, Zhou Y C, et al. Analysis of dehydration rate after physiological maturity in maize hybrids[J]. Crops, 2010(2): 58–61. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)